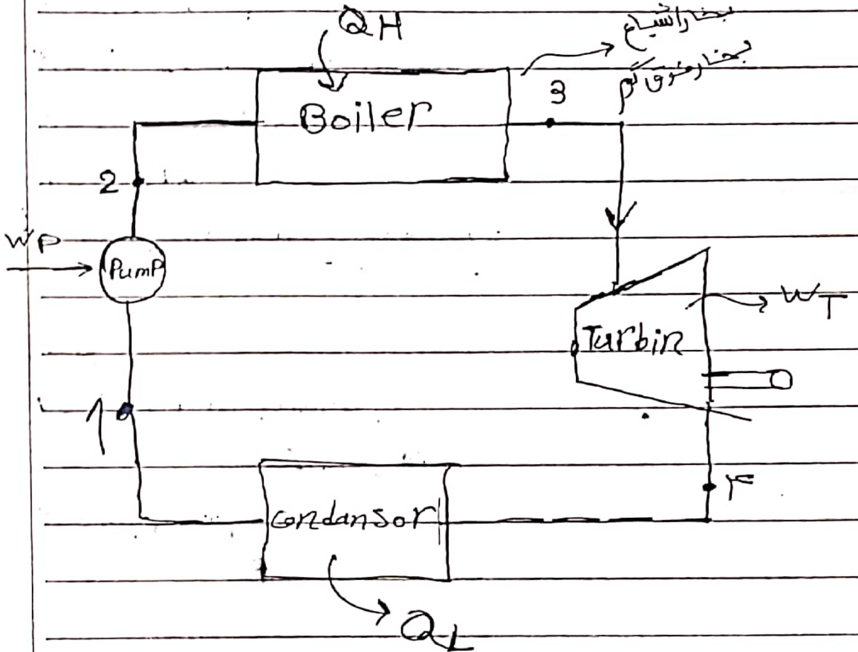
ترمو ۲

۱- سیکل‌های قدرت و تبرید
۲- مخلوط گازی
۳- روابط ترمودینامیکی
۴- تهویه مطبوع
۵- احتراق
۶- جریان تراکم‌پذیر با سرعت بالا

منابع
۱- ترمودینامیک سنجل
۲- ون وایلن
۳- جزوه درس

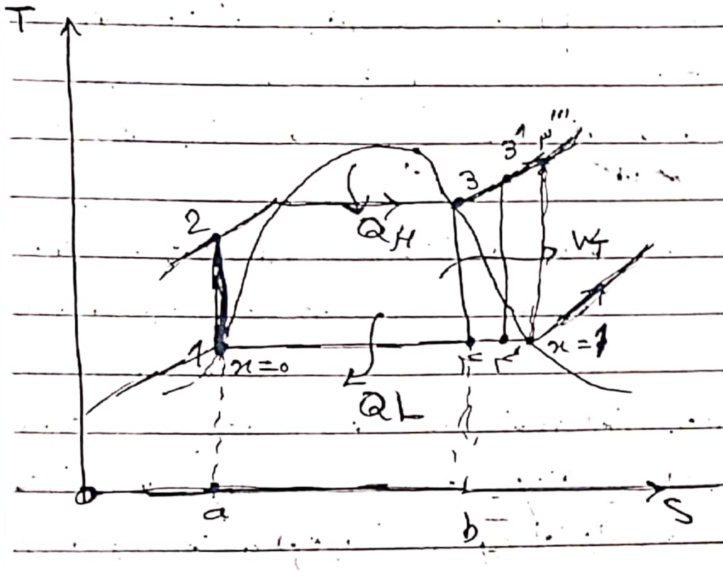
چرخه‌ی رانکین: چرخه‌ی رانکین یک چرخه‌ی ایده‌آل نیروگاه بخار است که خود به تنهایی یک نمونه موتور حرارتی می‌باشد. چرخه‌ی رانکین شامل دو فرآیند آنتروپی ثابت در پمپ و توربین و دو فرآیند فشار ثابت در کندانسور و بویلر است. تمامی فرآیندها برگشت‌پذیر فرض می‌شود.



می‌توان این چرخه را در نمودار T S نشان داد

شکل: در این فرآیند دما ثابت است، شروع فرآیند از ... آغاز می‌شود. این

اصل در سیکل رانکین به کار گرفته می‌شود.



در مورد چرخه رانکین بخار خروجی از بویلر می‌تواند به صورت

فوق گرم نیز باشد و یعنی نقطه 3′ در نمودار فوق

مساحت زیر نمودار T-S گویای میزان انتقال حرارت می‌باشد

شود.

بازده = خروجی مطلوب / ورودی مورد نیاز $\Rightarrow \eta = \dfrac{W_{net}}{Q_H} = \dfrac{Q_H - Q_L}{Q_H} = 1 - \dfrac{Q_L}{Q_H}$

$W_{net} = W_T - W_P$

$\eta_{کارنو} = 1 - \dfrac{T_L}{T_H}$, $\dfrac{Q_L}{Q_H} = \dfrac{T_L}{T_H}$

قانون اول ترمودینامیک (سیکل): $Q_{net} - W_{net} = 0 \Rightarrow W_{net} = Q_{net} = S_{۱۲۳۴}$ (مساحت ۱۲۳۴)

$Q_H = S_{۲۳۴ba}$, $Q_{net} = Q_H - Q_L$

امکان سوال

بررسی اثر (تأثیر) افزایش فشار بویلر: چنانچه فشار بویلر افزایش یابد دمای متوسط در فرآیند جذب حرارت نیز $\overline{T_H}$ افزایش یافته و طبق رابطه‌ی $\eta = 1 - \frac{\overline{T_L}}{\overline{T_H}}$ راندمان افزایش می‌یابد.

تأثیر افزایش فشار کندانسور: با افزایش فشار کندانسور کار خالص چرخه کاهش می‌یابد و با ثابت بودن Q_H راندمان چرخه کم می‌شود.

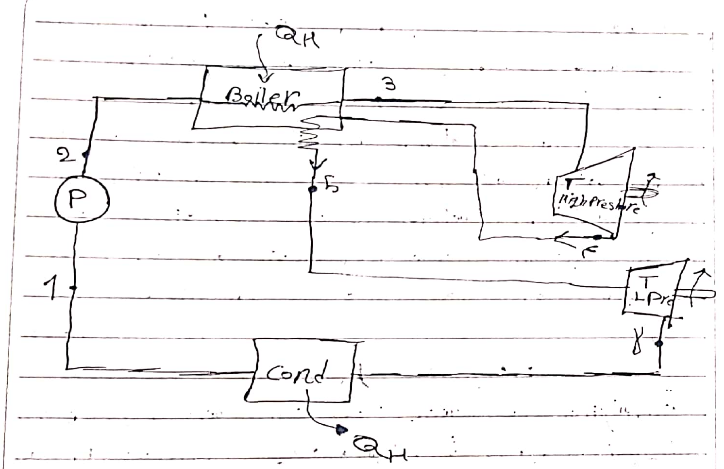
تأثیر سوپرهیت کردن بخار (فوق گرم) بخار در بویلر: در اثر فوق گرم شدن بخار در بویلر تا حالتی که بخار خروجی از توربین در ناحیه‌ی فوق گرم نباشد $\overline{T_H}$ افزایش می‌یابد و راندمان هم افزایش می‌یابد.

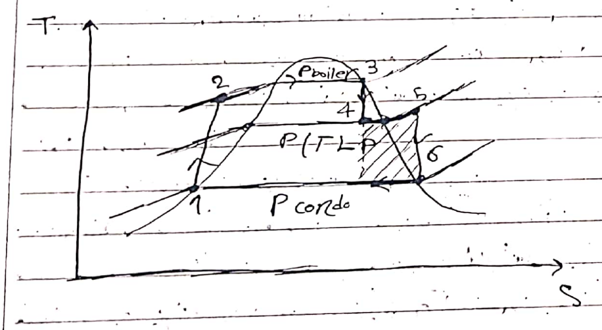
افزایش فشار بویلر کیفیت بخار خروجی را کاهش می‌دهد و در نتیجه وجود قطرات مایع در بخار سبب خوردگی پره‌های توربین و کاهش عمر آن می‌شود. برای جلوگیری دو راه وجود دارد.

① فوق گرم کردن بخار در بویلر

② استفاده از چرخه‌ی گرمایش مجدد — Reheat

چرخه‌ی گرمایش مجدد رانکین:

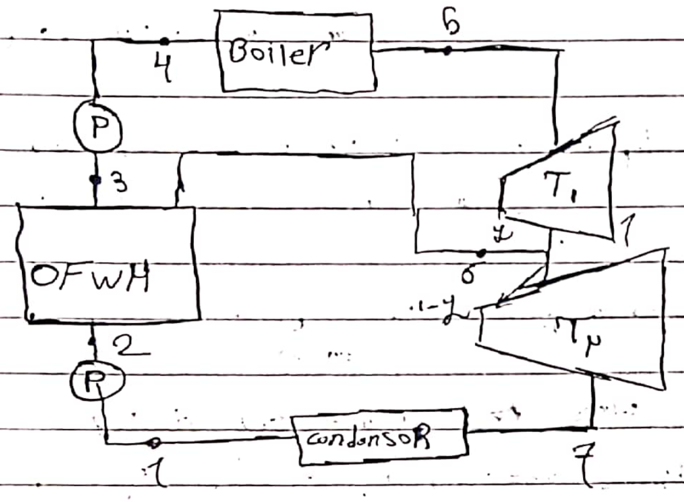


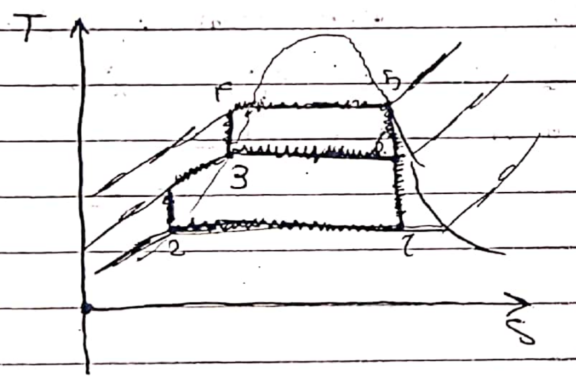


بخار خروجی از توربین HP تا یک فشار میانی منبسط و سپس
با استفاده از گازهای خروجی از بویلر دوباره گرم می شود سپس
در توربین LP تا فشار خروجی منبسط می شود در نتیجه
کیفیت بخار خروجی از توربین دوم افزایش می یابد.
با استفاده از چرخه گرمایش مجدد راندمان کلی نسبت
به حالتی که گازهای خروجی بدون استفاده به اتمسفر تخلیه
شوند بالا می رود. در حالی که راندمان حرارتی چرخه به تنهایی
تفاوت چندانی نخواهد کرد هر چند کار خالص چرخه افزایش
می یابد.

چرخه بازیاب یا بازگشتی (Regenerative):

در این چرخه با استفاده از بخار برداشت شده (زیرکش) از توربین آب تغذیه بویلر پیش گرم می شود. جهت گرمایش
می توان از گرمکن نوع باز یا بسته استفاده نمود.
مبدل حرارتی تماس مستقیم یا باز: در این نوع گرمکن
بخشی از بخار منبسط شده در توربین وارد گرمکن شده
و با بخش باقی مانده که در کندانسور به مایع تبدیل شده و سپس
به گرمکن پمپ می شود.
بخار گرم شده از توربین و مایع پمپ شده داخل گرمکن
باهم مخلوط می شوند و وارد بویلر می گردند. از آن جا که مایع در یک
فشار میانی از گرمکن خارج می شود لازم است برای رسیدن به
فشار بویلر از یک پمپ بین گرمکن و بویلر استفاده
شود.





براساس میزان برداشت بخار از توربین y نقطه ۳ بین
۶ و ۲ متغیر خواهد بود. بهترین شرایط این است که بخار برداشتی (y)
تنها به اندازه ای باشد که مایع خروجی از گرمکن روی نقطه مایع اشباع (نقطه ۳) قرار گیرد.

نکته: برای خطر جلوگیری از کاویتاسیون)

الف) پمپ آسیب نبیند

ب) گرمادخوری جوشش داشته باشد
که حاصل از بخار

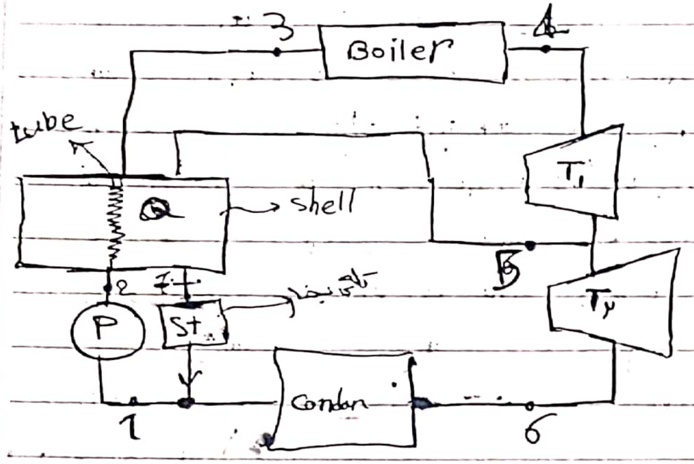
در این سیکل دمای متوسط جذب حرارت $\overline{T}_H$ بالا رفته و در نتیجه راندمان حرارتی چرخه نیز افزایش پیدا کند.

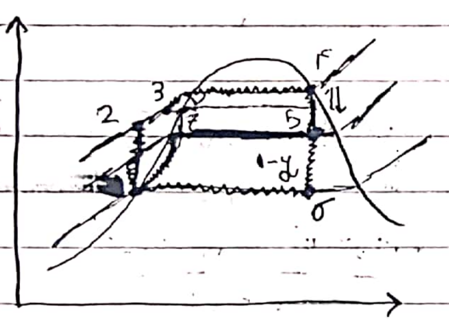
بنابر.

مبدل حرارتی تماس غیرمستقیم
(بسته)

close ~~heat~~ feed water Heater

در این نوع گرمکن بخار خارج شده از توربین از طریق گردش در لوله‌هایی حاوی مایع به آن منتقل می‌شود. در این حالت بخار خروجی از گرمکن یا با استفاده از تله‌ی بخار به صورت مایع وارد خط اصلی شده و مایع خروجی از گرمکن نیز وارد بویلر می‌شود. در این نوع چرخه به دلیل آمیخته نشدن دو مسیر نیاز به پمپ میانی نیست.





در این حالت میزان برداشت بخار گونه‌ای باشد که مایع خروجی از گرمکن 3 و بخار کندانس شده از آن هم دما شده و بخار به صورت مایع اشباع خارج شود

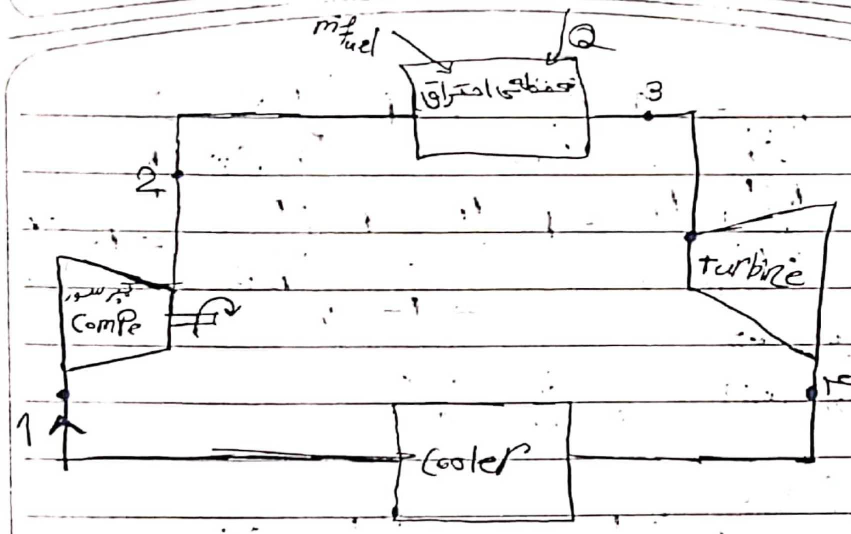
چرخه‌های استاندارد هوایی:

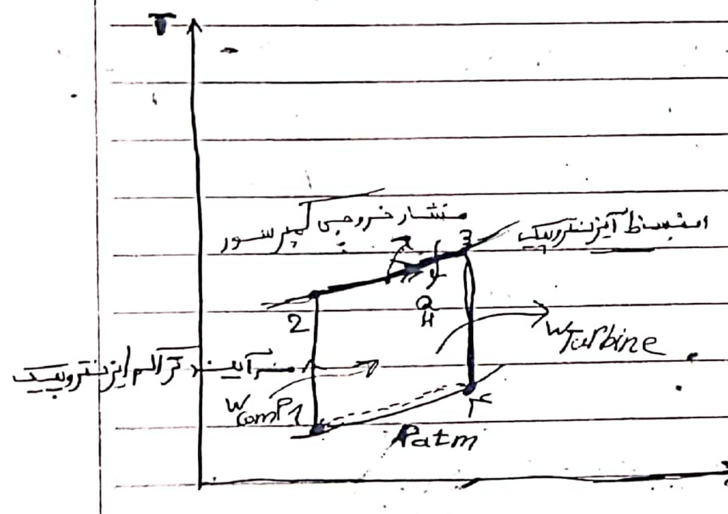
در بسیاری از دستگاه‌ها مثل موتورهای دیزل و توربین گازی سیال عامل گاز حاصل از احتراق است که در این نوع موتورها ترکیب شیمیایی سیال عامل به دلیل فرآیند احتراق تغییر می‌کند.
در چنین سیال عامل هر چرخه کامل نمی‌شود. تحلیل این سیستم‌ها پیچیده است.
از این رو برای بررسی این گونه سیکل‌ها چرخه‌ای که تقریباً نزدیک به این چرخه‌ها باشد را بررسی می‌کنیم.
چرخه استاندارد هوایی ... که چهار فرض زیر بر اساس آن بنا شده:

1) سیال عامل هوا است و احتراق تأثیری در ترکیب آن نمی‌گذارد.
2) کل هوا به عنوان گاز ایده‌آل فرض می‌شود. 3) از دبی جرمی سوخت $\dot{m}_{fuel}$
4) فرآیند احتراق با یک فرآیند ... جایگزین می‌شود و دفع حرارت به محیط جایگزین می‌شود.

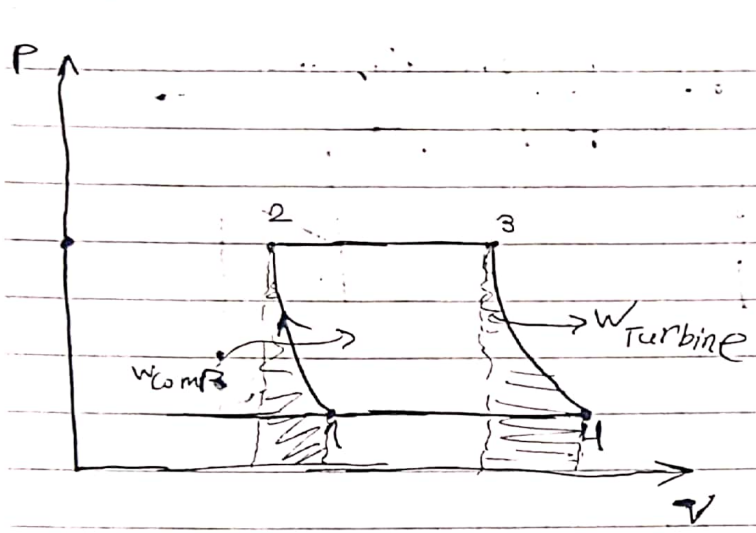
چرخه برایتون:

این چرخه، چرخه ایده‌آل برای توربین گازی ساده است.





در این چرخه نقاط 3 و 4 ثابت هستند که شرایط محیط و دمای تحمل فلز سازنده توربین مشخص می‌شود.
راندمان این چرخه به شکل زیر محاسبه می‌شود.



راندمان حرارتی

$$\eta_{th} = 1 - \frac{Q_L}{Q_H} = 1 - \frac{c_p (T_4 - T_1)}{c_p (T_3 - T_2)}$$

$$= 1 - \frac{T_1 \left(\frac{T_4}{T_1} - 1\right)}{T_2 \left(\frac{T_3}{T_2} - 1\right)} = 1 - \frac{T_1}{T_2} = 1 - \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{\frac{k-1}{k}} = 1 - \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{1-k}{k}}$$

$$= 1 - (r_p)^{\frac{1-k}{k}}$$

در فرآیند آیزنتروپیک

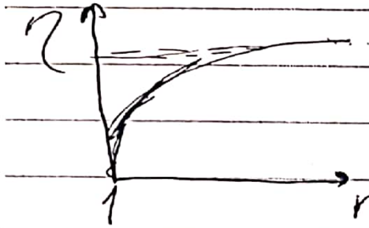
r_p: ضریب تراکم (نسبت فشار)

$1 \rightarrow 2$:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} = \left(\frac{P_3}{P_4}\right)^{\frac{k-1}{k}} = \frac{T_3}{T_4} \Rightarrow \frac{T_4}{T_1} = \frac{T_3}{T_2}$$

$P_2 = P_3$ and $P_1 = P_4$

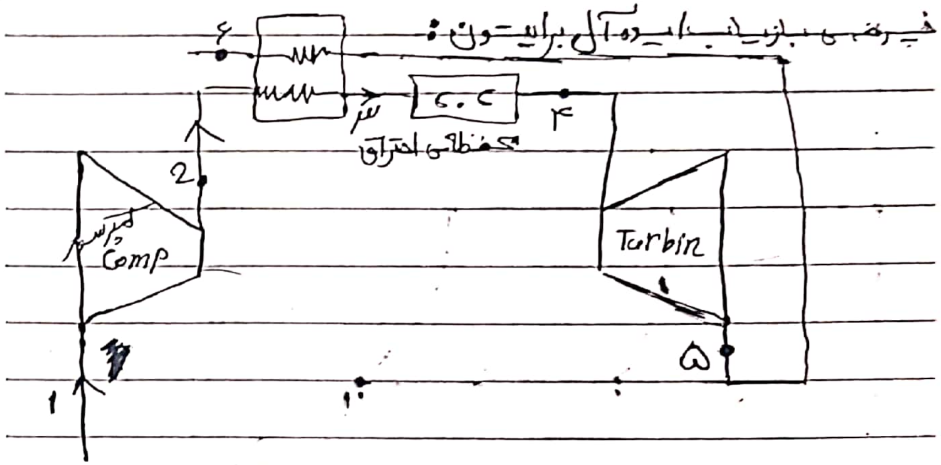
$k = \frac{c_p}{c_v}$ ضریب ثابت گرمای ویژه

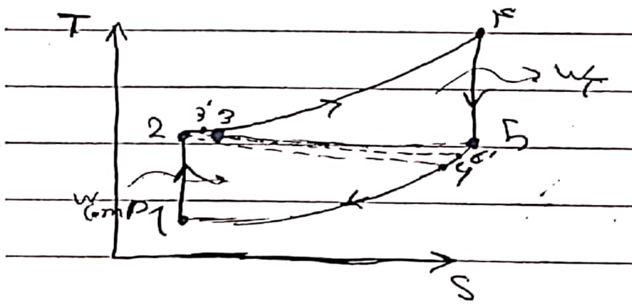


نمودار تغییرات راندمان با نسبت تراکم

کار تولیدی توربین بیشتر از کار مصرفی کمپرسور است. چنانچه نمودار P-V برای چرخه برایتون رسم کنیم این دو کار به خوبی قابل مشاهده هستند.

فرض بازیابی ایده آل برایتون :





از آن جایی که در عمل قابلیت کاردهی هوای خروجی از توربین
مورد استفاده قرار نمی‌گیرد و به عبارتی اتلاف انرژی
داریم به دو روش زیر می‌توان بازده سیکل برایتون را بهبود بخشید
① استفاده از سیکل ... که در آن گازهای خروجی از توربین به
نیروگاه ... فرستاده می‌شود و برای پیش گرم کردن آب ورودی
به بویلر مورد استفاده قرار می‌گیرد

② استفاده از بازیابی که در آن گرمای گازهای خروجی از توربین
توسط مبدل حرارتی به گازهای خروجی از کمپرسور
منتقل می‌شود.

$$\eta_{th} \simeq 1 - \frac{\overline{T_L}}{\overline{T_H}}$$

با توجه به موارد ذکر شده است که هم $\overline{T_H}$ و هم $\overline{T}$ افزایش
یافته و $\overline{T_L}$ کاهش یافته که باعث می‌شود راندمان حرارتی چرخه با توجه
به فوق افزایش می‌یابد η_{th}
در حالت بازیابی ایده آل داریم:

$$\begin{cases} T_3 = T_5 \\ T_6 = T_2 \end{cases}$$

بنابراین طبق رابطه راندمان بازیافت خواهیم داشت

$$\eta_{reg} = \frac{T_{3'} - T_2}{T_5 - T_2}$$

η یا بازیافت

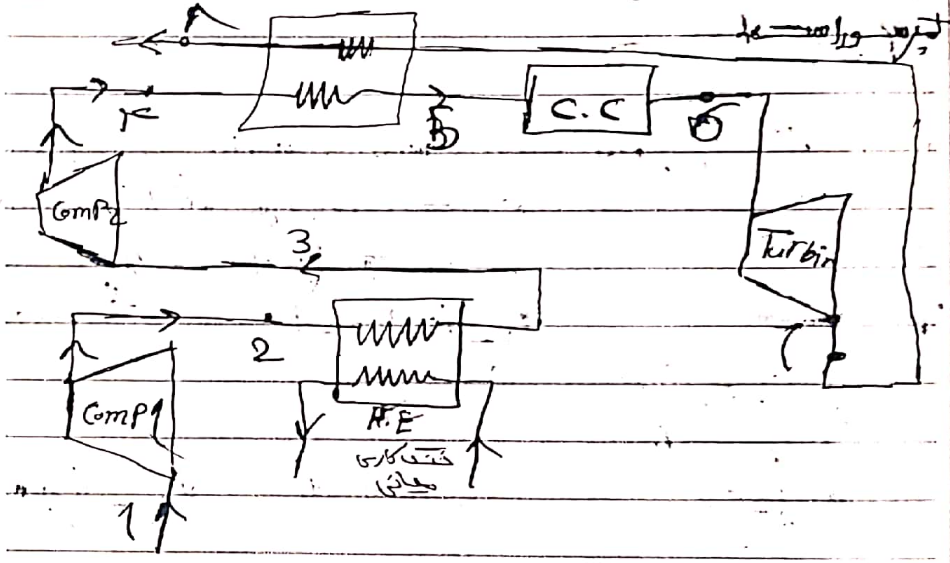
$$\eta_{th} = \frac{W_{net}}{Q_H} = \frac{c_p(T_4 + T_1 - 2T_{3'})}{c_p(T_4 - T_{3'})}$$

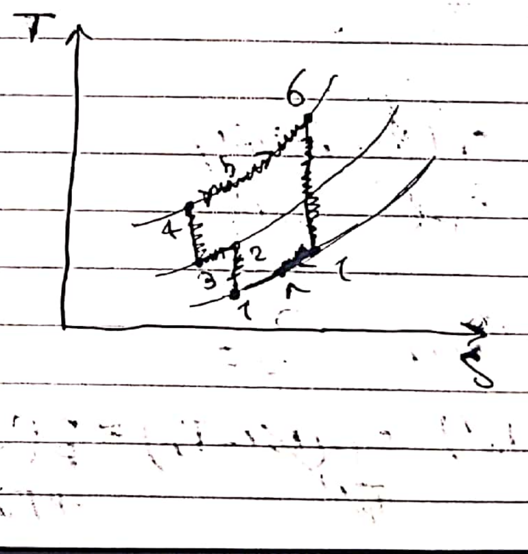
$$W_{net} = W_T - W_{comp} = Q_{net}$$

$$W_{net} = c_p(T_4 - T_{3'}) - c_p(T_{6'} - T_1) = c_p(T_4 + T_1 - 2T_{3'})$$

$T_{6'} = T_{3'}$

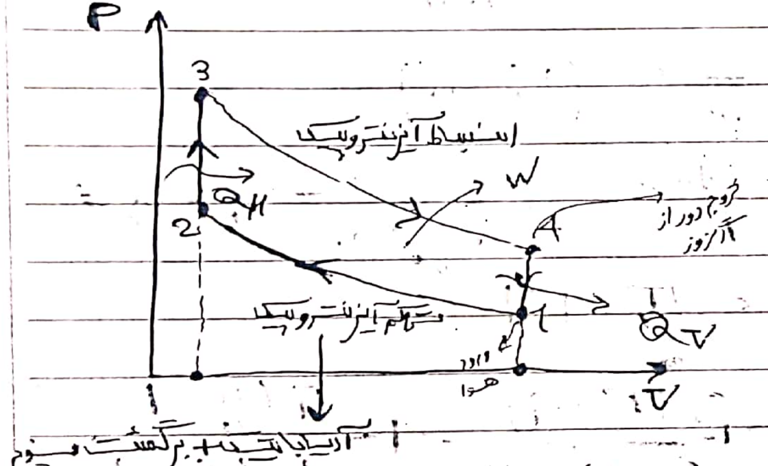
تراکم چند مرحله‌ای: در این روش با استفاده از تعدادی کمپرسور [illegible] ضمن تبدیل فرآیندهای آیزنتروپیک به فرآیندهای دما ثابت نزدیک شده و ← افزایش کار تولیدی توربین و کاهش کار مصرفی کمپرسور را داریم.

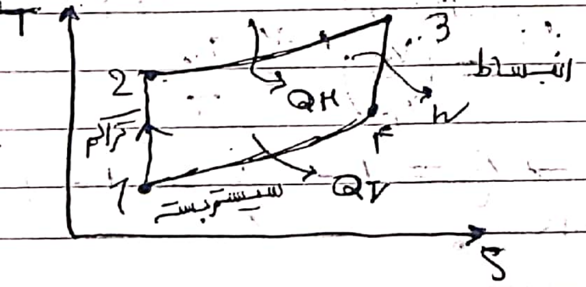




چرخه‌ی اتو: این چرخه، چرخه‌ی ایده‌آل یک موتور احتراق داخلی بنزینی است.

چرخه با عمل تراکم آغاز می‌شود که یک فرآیند آدیاباتیک برگشت‌پذیر است. به حرکت پیستون از پایین به بالا سیلندر پیستون در نقطه‌ی مرکز بالا قرار دارد هوا گرم می‌شود چنان چه فرض کنیم فرآیند احتراق بسیار سریع است فرآیند گرم شدن هوا در حجم ثابت رخ خواهد داد که مشخصه‌ی چرخه‌ی اتو می‌باشد چنان چه فرآیند احتراق کند فرض شود در فشار ثابت صورت گرفته و منجر به تعریف چرخه‌ی دیزل می‌شود.





نقطه ۳ یعنی نقطه‌ای که بیشترین دما و فشار سیستم در چرخه است: این نقطه مرز نقاط مشخصی در چرخه می‌باشد که دارای محدودیت‌های متالورژیکی است.

۴ نقطه ۱ و ۴ روی یک خط حجم ثابت به هم متصل می‌شوند بنابراین به جای دفع دود و مکش آن، فرآیند دفع حرارت به محیط در حجم ثابت در نظر گرفته می‌شود. راندمان چرخه اتو به صورت زیر قابل محاسبه است.

$$\eta_{th} = 1 - \frac{Q_L}{Q_H}$$

$$Q_H = Q_{2\to 3} \xrightarrow{\text{قانون اول}} Q_{2\to 3} - \cancel{W_{2\to 3}} = U_3 - U_2 \quad (c_v T)$$

$$\Rightarrow Q_{2\to 3} = c_v (T_3 - T_2)$$

$$Q_L = Q_{4\to 1} \xrightarrow{\text{قانون اول}} Q_{4\to 1} - \cancel{W_{4\to 1}} = U_1 - U_4 \Rightarrow$$

$$Q_{4\to 1} = c_v (T_1 - T_4)$$

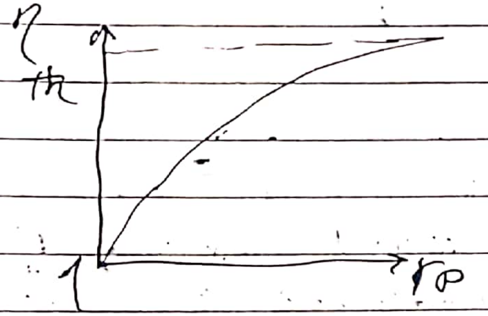
$$\eta_{th} = 1 - \frac{c_v (T_4 - T_1)}{c_v (T_3 - T_2)} = 1 - \frac{T_1 \left(\frac{T_4}{T_1} - 1\right)}{T_2 \left(\frac{T_3}{T_2} - 1\right)}$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{1-K} = \left(\frac{V_3}{V_4}\right)^{1-K} = \frac{T_3}{T_4}$$

$$\frac{T_4}{T_1} = \frac{T_3}{T_2} \Rightarrow \eta = 1 - \frac{T_1}{T_2} = 1 - \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{1-K}$$

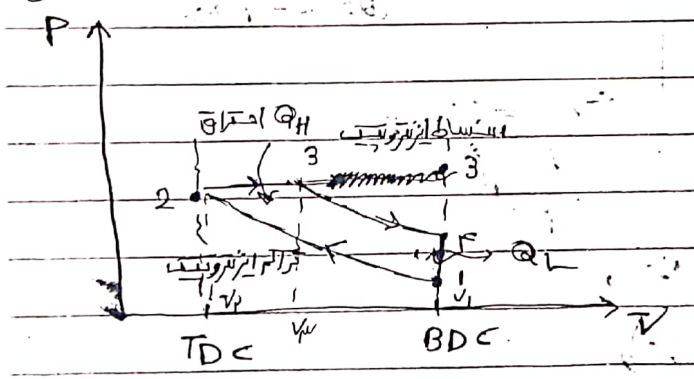
$$= 1 - (r_p)^{1-K}$$ (r_p: نسبت تراکم)

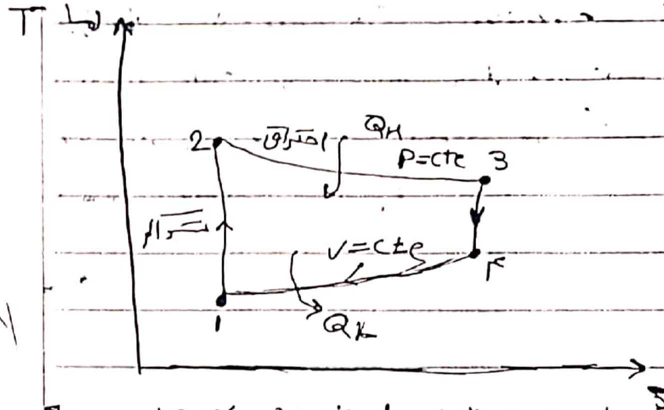
در رابطه بالا هر چه دمای max چرخه افزایش یابد کار خالص تولیدی زیاد می‌شود اما راندمان حرارتی چرخه تغییر نمی‌کند. آنچه بر روی راندمان تأثیر دارد نسبت تراکم (نه نسبت دمایی) یعنی تراکم است، یعنی نسبت تراکم چرخه r_p



چرخه دیزل:

همان گونه که اشاره شد چنانچه فرآیند احتراق در فشار ثابت فرض شود و آن را فشار ثابت در نظر گرفته و چرخه به دست آمده را چرخه دیزل می‌نامند.





با توجه به نمودار مشخص است که با افزایش دمای max چرخه $\bar{T}_H$ و $\bar{T}_L$ افزایش می‌یابد اما از آنجا که در دیاگرام T-S شیب خطوط حجم ثابت بیشتر از خطوط فشار ثابت است لذا نرخ افزایش $\bar{T}_L$ بیشتر از $\bar{T}_H$ است و بنابراین با وجود افزایش کار خالص چرخه راندمان آن کاهش می‌یابد

$$\eta \propto 1-\frac{\bar{T}_L}{\bar{T}_H}$$

r_c را نسبت قطع سوخت: cut off ratio

نسبت تراکم $r_p=\frac{v_1}{v_2}$

$r_c=\frac{v_3}{v_2}$

$\Rightarrow \eta_{th} = f(r_p, r_c)$ تابع

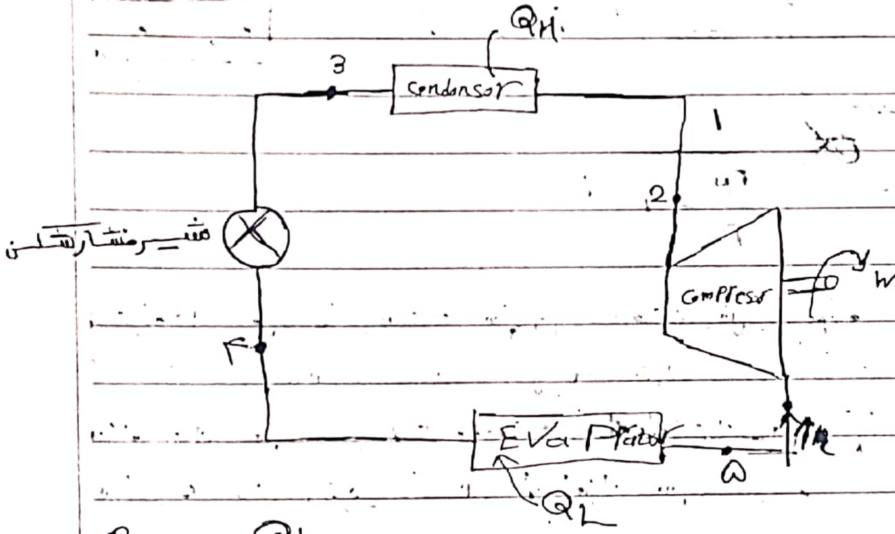
$r_p \nearrow$ $\eta_{th} \nearrow$

$r_c \nearrow$ $\eta_{th} \searrow$

راندمان حرارتی چرخه دیزل با r_p نسبت مستقیم و با r_c نسبت عکس دارد.

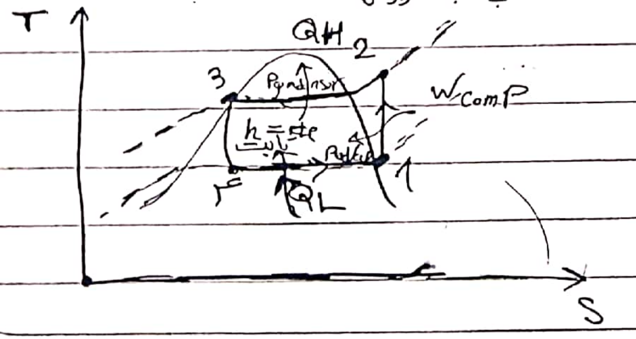
چرخه‌های تبرید: (تراکمی)

این چرخه معمول‌ترین نوع چرخه است که در یخچال‌های خانگی، سیستم‌ها و کولرهای گازی می‌باشد که شامل ۴ جزء اصلی است



$$\beta_{ref} = \frac{Q_L}{W_{comp}}$$ یخچال

$$\beta'_{HP} = \frac{Q_H}{W_{comp}}$$ پمپ حرارتی



از آن جایی که در این قسمت سیال عامل به صورت دو فازی می‌باشد
داشتن تعادل میان بخار و مایع در کمپرسور غیرممکن است. لذا
حالت ۱ سیال در ورود به کمپرسور به صورت بخار اشباع در نظر می‌گیرند.
معمولاً از شیر انبساط برای کاهش فشار سیال عامل تحت فرآیند
خفگی استفاده می‌شود.

$\dot{Q} - \dot{W} = \dot{m}\Delta h \Rightarrow \Delta h = 0$ $\boxed{h_3 = h_4}$

ادیاباتیک ($\dot{Q}$) ، 0 ($\dot{W}$)

$$\beta_{ref} \propto \frac{1}{\frac{T_H}{T_L} - 1}$$

اثر افزایش فشار کندانسور: با افزایش T_H و با توجه به رابطه‌ی فوق ضریب عملکرد β کاهش می‌یابد.
اثر افزایش فشار evaporator: با افزایش T_L و با توجه به رابطه‌ی فوق ضریب عملکرد β افزایش می‌یابد.

بخار اشباع با فشار ۸ MPa وارد توربین بخار شده و مایع اشباع با فشار $\frac{8}{1000}$ MPa از کندانسور خارج می‌شود. توان خروجی خالص سیکل ۱۰۰ MW می‌باشد. مطلوب است:

الف) بازده حرارتی
ب) نسبت کار برگشتی
ج) نرخ جریان جرمی بخار برحسب kg/h
د) نرخ انتقال حرارت $\dot{Q}_{in}$ که در بویلر به سیال عامل منتقل می‌شود.
ه) نرخ جریان جرمی آب خنک‌کاری کندانسور چنانچه دمای ورودی آب ۱۵°C و دمای خروجی آن ۳۵°C باشد.
و) نرخ انتقال حرارت $\dot{Q}_{out}$ که از بخار هنگام عبور از کندانسور گرفته می‌شود.

① P = ۸ MPa, Saturated vapour } جدول A.۳ → $h_1 = ۲۷۵۸ \frac{kJ}{kg}$

$s_1 = ۵/۷۴۳ \frac{kJ}{kgK}$

② $s_2 = s_1$, P = ۰/۰۰۸ MPa } ?

$s = s_f + x s_{fg} \Rightarrow x_2 = \frac{s_2 - s_f}{s_{fg}} = ۰/۶۷۴۵$

$s_f = ۰/۵۹۲۶$ ، $s_{fg} = ۷/۶۳۶۱$ ، $s_{fg} = s_g - s_f$

$h_2 = h_f + x\, h_{fg} = 1794.8 \ \frac{kJ}{kg}$

$173.88 \qquad 2403.1$

state ③:

saturated liquid @ 8 kPa

$h_3 = h_f = 173.88 \ \frac{kJ}{kg}$

state ④

sub-cooled

$h_4 : h_f @ T @ 8 \ MPa$

$w = -\int v\, dP$

$w = v_3 (P_4 - P_3)$

$h_4 = h_3 + v_3 (P_4 - P_3)$

$173.88 \qquad v_f = 1.0084 \times 10^{-3} \ \frac{m^3}{kg}$

$h_4 = 181.94 \ \frac{kJ}{kg}$

ص ۶۰

هوا در شروع فرآیند تراکم سیکل اتوی استاندارد هوا با نسبت تراکم ۸ در ۳۰۰K و ۱bar و حجم سیلندر ۵۶۰cm³ است. ماکسیمم دما در طول چرخه ۲۰۰۰K است:

مطلوب است:

الف) دما و فشار در انتهای هر فرآیند از سیکل

ب) بازده حرارتی

ج) فشار موثر میانگین:

① $T_1 = 300K \xrightarrow[A-22]{table} u_1 = 214.07 \ \frac{kJ}{kg}$

$v_{r_1} = 621.2$

② $v_{r_2} = \frac{v_{r_1}}{r} = \frac{621.2}{8} = 77.65 \xrightarrow[A-22]{جدول} T_2 = 673K, \quad u_2 = 491.2 \ \frac{kJ}{kg}$

(r: نسبت تراکم)

③ $T_3 = 2000K$

$P_2 = P_1 \frac{T_2}{T_1} \frac{v_1}{v_2} = 1atm \times \frac{673}{300} \times 8 = 17.95$

$P_3 = P_2 \frac{T_3}{T_2} = 53.3 \ bar$

جدول A-22: $u_3 = 1678.7 \ \frac{kJ}{kg} \longrightarrow v_{r_3} = 2.776$

$\eta = \frac{W}{Q_{in}} = \frac{Q_{in} - Q_{out}}{Q_{in}} = 1 - \frac{Q_{out}}{Q_{in}} = 51\%$

Scanned by CamScanner

$$W_b = P\Delta V$$

$$mep = \frac{W_{net}}{\Delta V}$$

مخلوط‌ها و سایکرومتری (تهویه مطبوع)

۱- مخلوط گازهای ایده‌آل

مخلوطی از گازهای گوناگون که در آن حالت ... تعریف شده برای هر یک از گازها در مخلوط گونه‌ای است که بتوان آن را گاز ایده‌آل فرض کرد و همچنین خود مخلوط نیز رفتار گاز ایده‌آل داشته باشد.

۲- مدل دالتون:

مخلوط چند گونه‌ای از گازهای ایده‌آل در دمای T و فشار P و حجم ~~...~~ V در نظر است.

با استفاده از مدل دالتون فرض می‌شود که دمای هر گونه در مخلوط برابر دمای کل مخلوط است.

ب- هر گونه (از گازها) در مخلوط حجمی معادل حجم مخلوط دارد.

ج- فشار هر گونه در مخلوط جزئی از فشار کل مخلوط است.

فشار جزئی P_i

ترکیب یک مخلوط معمولاً با جزء جرمی یا جزء مولی توصیف می‌شود:

جزء جرمی $mf = \frac{m_i}{m}$

جزء مولی $y_i = \frac{n_i}{n}$

$$m_i = n_i M_i$$

(m_i: جرم، n_i: تعداد مول، M_i: جرم مولی)

برای این اساس برای فشار جزئی هر جزء مخلوط می توان نوشت

$P_i V = n_i \underset{\bar{R}}{R_u} T$ جزء i

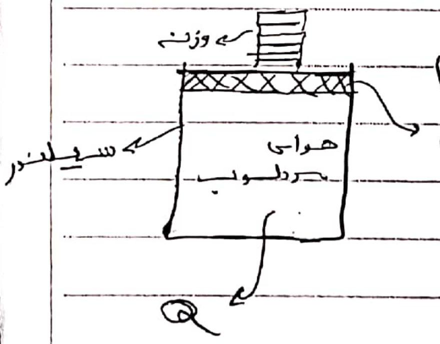
کل مخلوط $PV = nR_uT$

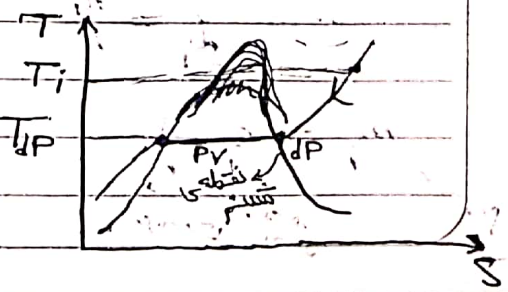
$$\frac{P_i}{P} = \frac{n_i}{n} = y_i$$

تعریف سایکرومتری: عبارت است از [redacted] تحلیل ترمودینامیکی هوای مرطوب یعنی مخلوط هوای خشک و بخار آب. از آن جا که فشار جزئی بخار آب بسیار پایین است آن را گاز ایده آل در نظر می گیریم.

تعاریف:

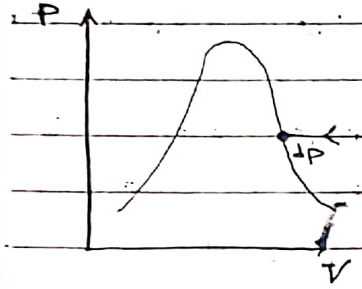
① دمای نقطه ی شبنم: هرگاه مخلوط هوای مرطوب در فشار ثابت خنک شود و دمای کل مخلوط کاهش یابد، دمایی که در آن اولین قطرات آب مشاهده شوند (بخار آب تبدیل به مایع) دمای نقطه ی شبنم گویند.





$$R_v = \frac{R_u}{\mu_{H_2O}} \rightarrow R$$

dew Point دمای نقطه ی شبنم



② رطوبت نسبی Relative Humidety

چنانچه بخار آب موجود در هوای مرطوب در فشار و دمای اشباع باشد (بخار اشباع) به مخلوط هوای مرطوب هوای اشباع گفته می شود

③ رطوبت نسبی

نسبت فشار جزئی بخار ($P_{[redacted]v}$) به فشار اشباع بخار در همان دما

فی $\varphi = \frac{P_v}{P_g|_{T_{mix}}}$ $\qquad 0 \le \varphi \le 1$

④ رطوبت مطلق (نسبت رطوبت)

نسبت جرم بخار آب به جرم هوای خشک

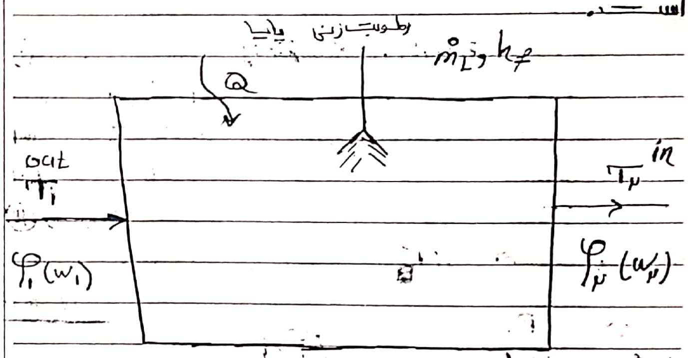
$$\omega = \frac{m_v}{m_a} \overset{\text{از ②}}{=} \frac{P_vV/R_vT}{P_aV/R_aT}$$

فرمول های گاز کامل $PV = nR_uT$ ، ② $PV = mRT$

$$= \frac{P_v}{P_a} \times \frac{R_a}{R_v}$$

$$= \frac{\varphi P_g|_{T_{mix}}}{\underbrace{P-\varphi P_g|_{T_{mix}}}_{P_a}} \times \frac{R_u/M_a}{R_u/\mu_{H_2O}} = 0.622\,\frac{\varphi P_g|_{T_{mix}}}{P-\varphi P_g|_{T_{mix}}}$$

تحلیل قانون اول ترمودینامیک برای سیستم سایکرومتری:
فرآیندهای سایکرومتریک معمولاً به صورت پایا تحلیل
می‌شوند و شمای کلی آن تقریباً (steady state)
ثابت است. یک سیستم سایکرو (steady flow)
متری پایا شامل آب و اعمال انتقال حرارت به شکل زیر
است.



$$\dot Q - \dot W = \sum \dot m_e h_e - \sum \dot m_i h_i$$

$$= (\dot m_v h_v + \dot m_a h_a)_2 - \left[(\dot m_v h_v + \dot m_a h_a) + \dot m_L h_f|_{T_f}\right]_1$$

بالانس جرمی

موازنه‌ی آب → $\dot m_{v_2} = \dot m_{v_1} + \dot m_L \Rightarrow \frac{\dot m_L}{\dot m_a} = \frac{\dot m_{v_2}}{\dot m_a} - \frac{\dot m_{v_1}}{\dot m_a}$ (w_2, w_1)

موازنه‌ی هوای خشک → $\dot m_{a_2} = \dot m_{a_1}$

$$= (\dot m_{v_2} h_{v_2} - \dot m_{v_1} h_{v_1}) + \dot m_a (h_{a_2} - h_{a_1}) - (\dot m_{v_2} - \dot m_{v_1})$$

$h_g|_{T_2}$ ، $h_g|_{T_1}$ ، $c_p(T_2 - T_1)$

$h_f|_{T_L}$

$$\frac{Q}{\dot m_a} = (h_a + w h_v)_2 - (h_a + w h_v)_1 - (w_2 - w_1)$$

آنتالپی ویژه هوای مرطوب

$h_f|_{T_L}$

یادآوری $\omega = \frac{\dot m_v}{\dot m_a}$

تعریف دماهای حباب خشک و حباب تر:

حباب خشک T_{DB}

حباب تر T_{WB}

دمای حباب تر (T_{WB}) دمای هوای مرطوب را نشان داده و
تقریباً برابر با دمای اشباع آدیاباتیک است.
فرآیند اشباع آدیاباتیک

عایق

فرآیند سیستم کلاً جهت

اندازه‌گیری رطوبت T_{as} $T_{as} < T_1$ T_1

نسبی هوا $\varphi = 1$ $\varphi < 1$

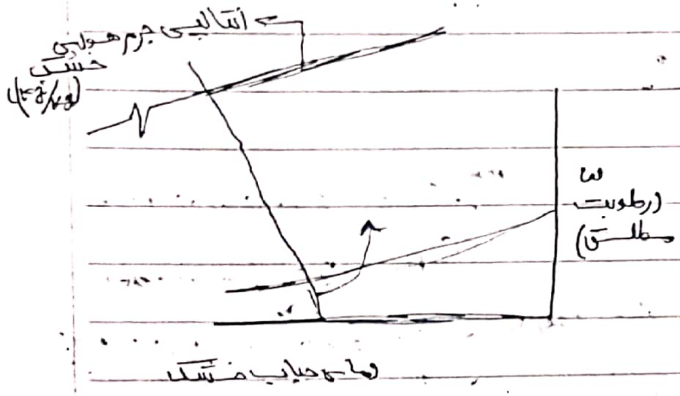
مرطوب و سرمایش تبخیری
دیواره‌ی عایق
انجام می‌شود در این فرآیند مخلوط هوای مرطوب از لوله‌ی

کاملاً عایق‌بندی دیواره‌ها هیچ حرارتی عبور نمی‌نماید، چنانچه رطوبت نسبی مخلوط ورودی کمتر از ۱۰۰٪ باشد مقداری از آب بخار شده و دمای مخلوط کاهش می‌یابد، چنانچه طول لوله به اندازه کافی طولانی باشد مخلوط هنگام خروج از لوله به صورت اشباع بوده $\varphi = 100\%$ و دمای مخلوط خارج شده را دمای اشباع آدیاباتیک T_{as} می‌نامند.

به دلیل کاربرد وسیع‌تر این خواص مخلوط هوای مرطوب به منظور دستیابی آسان به صورت ترسیمی ارائه می‌شود.

این نمودار را نمودار سایکرومتری می‌نامند.

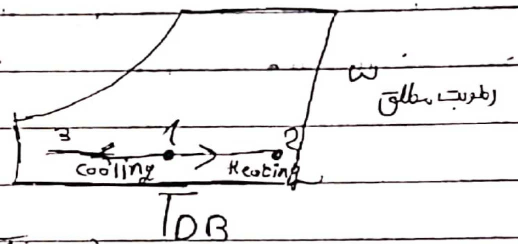
نقاط روی این نمودار نشان‌دهنده حالت ترمودینامیکی هوای مرطوب است. تمامی نقاط روی نمودار فشار کل یکسانی دارد.



$h_a + W h_v$

آنتالپی بخار آب

فرآیند گرم کردن یا سرد کردن (بدون رطوبت‌زنی یا رطوبت‌زدایی)
این فرآیندها به صورت شکل زیر در نمودار سایکرومتریک نشان داده می‌شود.



(دمای حباب خشک)

فرآیند گرم کردن: $T_{DB}\uparrow$ (دمای حباب خشک)، $T_{WB}\uparrow$ (دمای حباب مرطوب)، $\varphi\downarrow$ رطوبت نسبی

$W = \text{constante}$ رطوبت مطلق $\rightarrow h_a + w h_v \uparrow$ (آنتالپی ویژه یا آنتالپی بخار)

سرد کردن: $W = \text{Constant}$

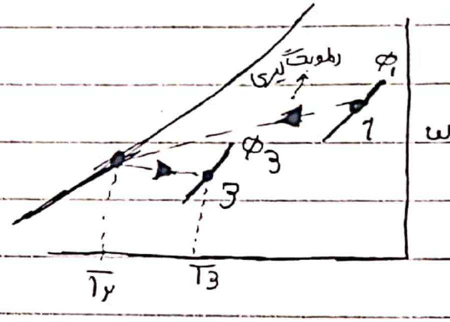
$T_{DB}\downarrow$ $T_{WB}\downarrow$ $\varphi\uparrow$

$h_a + w h_v \downarrow$

مثال: در فرآیند سرمایش و گرمایش دمای نقطه شبنم چه تغییری می‌کند؟ T_{DP}

در فرآیند رطوبت زدایی هدف کاهش رطوبت یک محیط بدون تغییر دما است. برای این منظور ابتدا هوای محیط را از یک کویل سرد عبور داده می‌شود تا به دمای نقطه‌ی شبنم رسیده و چگالش آغاز شود.

پس از انجام چگالش به اندازه‌ی کافی هوای اشباع از کویل گرم عبور داده می‌شود تا دما به دمای مورد نظر برسد.



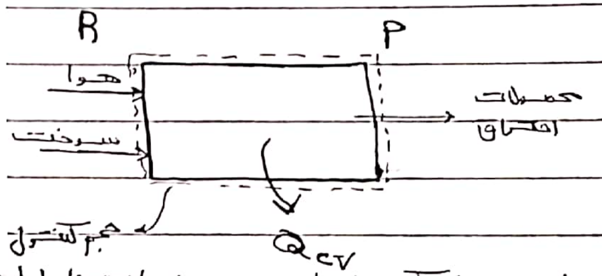
a b c

c: سرمایش تبخیری (سرمایش + رطوبت زنی) این فرآیند در کولرهای آبی اتفاق می‌افتد و مسیر فرآیند مستقل بر خطوط

احتراق

در این فصل قانون اول ترمودینامیک در فرآیند احتراق بررسی و تحلیل می‌شود.

فرآیند احتراق را با حجم کنترلی به شکل زیر مدل می‌کنیم.



با توجه به رابطه قانون اول برای حجم کنترل داریم: بر واحد مول (mol)

$$\dot{Q}_{cv} = \sum \dot{n}_P \bar{h}_P - \sum \dot{n}_R \bar{h}_R \quad (kJ/mol)$$

که در آن محصولات احتراق به عنوان خروجی با P و واکنش‌دهنده‌ها به عنوان ورودی با R نشان داده می‌شود.

$$\frac{\dot{Q}_{cv}}{\dot{n}_{fuel}} = \sum n_P \bar{h}_P - \sum n_R \bar{h}_R = H_P - H_R$$

که در آن n_R و n_P ضرایب استوکیومتری در معادله واکنش شیمیایی سوختن است.

معادله واکنش شیمیایی با دو روش قابل تعیین است:

الف) اندازه‌گیری اجزای محصولات احتراق با وسیله‌ای در دستگاه‌های آنالیزگازهای احتراق (flue gas Analyser)

پیش‌بینی واکنش شیمیایی با استفاده از فرضیات ایده‌آل‌سازی مانند فرض احتراق کامل

روش دوم استفاده از روش‌های تعادل شیمیایی است.

تعاریف:

① احتراق کامل: احتراق کامل یک سوخت هیدروکربنی با هوا به احتراقی گویند که در آن در محصولات احتراق تنها دی‌اکسید کربن و بخار آب باشد و نیتروژن موجود در هوا وارد واکنش نشود.

N_2
NO_2
NO_x نباشد

② هوای نظری (تئوری): مقدار حداقل هوایی که برای احتراق کامل سوخت کافی باشد را هوای نظری (تئوری می‌نامیم) در احتراق با هوای نظری تمامی اکسیژن هوا و تمامی سوخت در فرآیند احتراق مصرف شده و به عبارتی در محصولات احتراق اکسیژن اضافی یا سوخت نسوخته نداریم. (هیدروکربنی)

③ هوای اضافی (Excess Air): هوای به کار رفته در احتراق که بیش از هوای نظری باشد را ... گویند.

④ کمبود هوا: هنگامی که در فرآیند احتراق هوای وارد شده به واکنش از هوای نظری کمتر باشد کمبود هوا در احتراق رخ می‌دهد.

⑤ نسبت هوا به سوخت: به دو شکل جرمی و مولی قابل تعریف است.

Air fuel Ratio

Scanned by CamScanner

$AF = \frac{m_{air}}{m_{fuel}}$

$\overline{AF} = \frac{n_{air}}{n_{fuel}}$

$AF = \overline{AF} \cdot \frac{M_{air}}{M_{fuel}}$ → جرم مولی

با اضافه کردن هوا می‌توان دمای محصولات احتراق را کنترل کرد
بر این اساس درصد هوای تئوری مطابق تعریف است

هوای تئوری

$\text{theoritical air} = \frac{AF_{act}}{AF_{theo}}$ ← واقعی

$= \frac{\overline{AF}_{act}}{\overline{AF}_{theo}}$

انتالپی تشکیل: از آن جایی که ماهیت مواد در فرآیند واکنش عوض می‌شود لازم است یک شرایط مبنایی مشخص کرد برای محصولات تعریف کنیم. در احتراق این شرایط مبنا عبارتست از دمای ۲۵°C، فشار 100 kPa و فرض گاز ایده‌آل برای مواد کاری شکل:

$\Delta \bar{h} = \bar{h}(T, P) - \bar{h}(T_{ref}, P_{ref})$

(بیشتر از) — 298 K — 101,3 kPa

$= \bar{c}_p (T - T_{ref})$

که در آن $\bar{h}^o_f$ را با نماد $\bar{h}(T_{ref}, P_{ref})$ نشان داد و آن را آنتالپی تشکیل می‌گویند.

آنتالپی تشکیل عبارت است از حرارت آزاد یا گرفته شده برای تشکیل 1 Kmol از ماده مرکب یا انجام واکنش روی عناصر آزاد مجاز در شرایط مبنا.

آنتالپی تشکیل عناصر آزاد در حالت مبنا صفر است.
چنانچه در واکنش تشکیل یک ماده مرکب انرژی آزاد شود واکنش گرمازا است و آنتالپی تشکیل ⊖ خواهد بود. آنتالپی تشکیل واکنش گرماگیر ⊕ است.

آنتالپی در دما و فشار غیر از فشار مبنا با استفاده از فرمول زیر بدست می‌آید:

$h_{(T,P)} = \bar{h}^o_f + \underbrace{\Delta h}_{\bar{c}_p (T - T_{ref})}$

ارزش حرارتی: (آنتالپی احتراق) میزان حرارت آزاد شده از سوزاندن 1 kg سوخت به طور کامل با هوا در شرایط دما و فشار مرجع.

● به عبارت دیگر یعنی: ۱- احتراق کامل
۲- مواد اولیه و محصولات به ترتیب با دما و فشار مبنا به محفظه احتراق وارد و از آن خارج می‌شود.

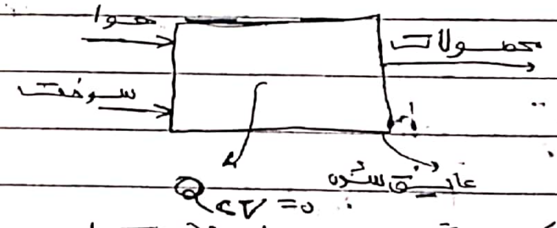
ارزش حرارتی بالا و پایین:

HHV: چنانچه آب موجود در محصولات احتراق کاملاً مایع فرض شود ارزش حرارتی بالای سوخت بدست می آید.

ارزش حرارتی پایین (LHV): چنانچه آب موجود در محصولات احتراق کاملاً گاز باشد ارزش حرارتی پایین بدست می آید.

$$HHV - LHV = n_{H_2O}\, h_{fg}, H_2O\Big|_{T_{ref}} \quad \frac{M_{H_2O}}{M_{fuel}}$$

چنانچه سوخت دارای هیدروژن نباشد $HHV = LHV$ چرا که در محصولات احتراق آب وجود ندارد.



چنانچه احتراق کامل و بدون انتقال کار و حرارت انجام شود دمای محصولات را دمای شعله ادیاباتیک می نامند و در تعیین این دما فرض بر این است که مواد اولیه و اکسیژن به صورت ... بیشترین مقدار ... دمای شعله ادیاباتیک حد بالاترین دمایی است که محصولات احتراق به آن می رسند.

$$\frac{\dot{Q}_{cv}}{n_{fuel}} = H_P - H_R = 0$$

$$H_R = H_P$$

در ابتدای مرحله ی تراکم سیکل دیزل استاندارد هوایی که با نسبت تراکم ۱۸ کار می کند دما ۳۰۰K و فشار ۰/۱MPa است. ضریب cutoff برای سیکل ۲ می باشد:

الف) دما و فشار در پایان هر مرحله از سیکل

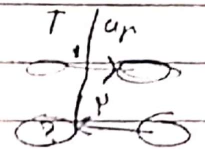
ب) بازده حرارتی

ج) متوسط فشار موثر برحسب MPa

$$T_1 = 300K \xrightarrow[A-22]{table} \begin{cases} u_1 = 214.07 \\ v_{r1} = 621.2 \end{cases}$$

$$v_{r2} = \frac{v_{r1}}{r} \xrightarrow{table} T_2 = 898.3K$$

$$P_2 = P_1 \times \frac{T_2}{T_1} \times \frac{v_1}{v_2} = 5.39\ MPa$$



مثال ۹/۴

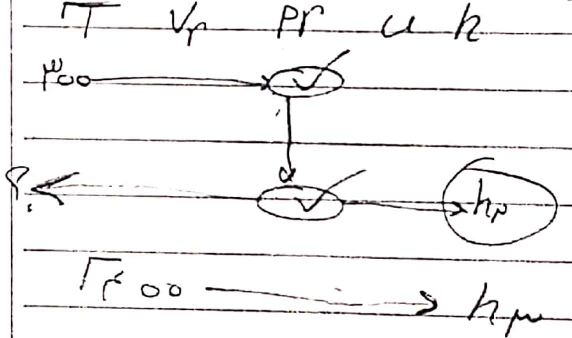
سیکل برایتون ایده‌آل

هوا با فشار 100KPa و دمای 300K به کمپرسور یک سیکل برایتون هوای استاندارد ایده‌آل وارد می‌شود. نرخ جریان حجمی هوای ورودی $5\, m^3/s$ است. نسبت فشار کمپرسور ۱۰ و دمای ورودی توربین 1400K می‌باشد:

الف) بازده حرارتی سیکل؟

ب) نسبت کار برگشتی

ج) توان خالص سیکل برحسب KW



مثال ۹/۷

یک سامانه‌ی بازیاب به اجزای سیکل معرفی شده در مثال قبل به کار گرفته می‌شود. چنان چه بازده‌ی سامانه‌ی بازیاب ۸۰٪ باشد، در آن صورت بازده‌ی حرارتی چقدر خواهد بود؟

۱۰/۱

مثال / سیکل تبرید تراکمی ایده‌آل

مبرد 134A به عنوان سیال عامل یک سیکل تبرید تراکمی که بین دو دمای ۰ و ۲۶°C کار می‌کند استفاده می‌شود. بخار اشباع در دمای صفر درجه وارد کمپرسور شده و مایع اشباع کندانسور را در دمای ۲۶°C ترک می‌کند. دبی جرمی مبرد 0/08 kg/s می‌باشد، مطلوب است:

الف) توان کمپرسور برحسب KW

ب) ظرفیت تبرید برحسب تن تبرید

ج) ضریب عملکرد سیکل

د) ضریب عملکرد سیکل کارنو متناظر با سیکل تراکمی موجود

Scanned by CamScanner

در هوای سرد قطرات اغلب در سطح داخلی پنجره‌ها که از
درجه حرارت نزدیک سطح پنجره پایین‌تر است اتفاق
می‌افتد.

میزان چگالش اتاق ۲۰°C و رطوبت نسبی ۷۵٪ باشد، دمای
شیشه‌ها باید از چه مقداری بزرگتر باشد تا میعان
اتفاق نیفتد.

مثال ۱۴-۳

دمای حباب خشک و تر برای هوای محیط در فشار 1atm
یا 101,325 kPa به ترتیب ۲۵°C و ۱۵ می‌باشد. مطلوب است:

الف) رطوبت مخصوص

ب) رطوبت نسبی

ج) آنتالپی هوا

$$\omega_2 = \frac{0.622\, P_{g,2}}{P_1 - P_{g,2}}$$

مثال ۱۴-۵

یک سیستم تهویه مطبوع هوای خارج را در ۱۰°C و رطوبت نسبی
۳۰٪ به میزان ثابت $45\ m^3/min$ به شرایط ۲۵°C و رطوبت
نسبی ۶۰٪ می‌رساند. هوای بیرونی ابتدا تا ۲۲°C گرم می‌شود
و به وسیله بخار داغ مرطوب می‌گردد. $P = 100\ kPa$
تزریق
مطلوب است:

الف) میزان نرخ گرمای مصرفی در فرآیند گرمایش

ب) دبی جریان بخار لازم

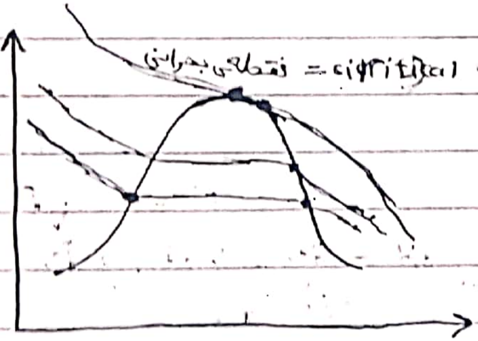
تمرین ۱۴

هوا در فشار 1atm و $30^\circ C$ و رطوبت نسبی ۸۰٪ با دبی $10\ m^3/min$ وارد یک سیستم تهویه مطبوع می‌گردد و در حالت اشباع و در دمای $14^\circ C$ خارج می‌گردد. قسمتی از رطوبت موجود در هوا تقطیر شده و در دمای $14^\circ C$ خارج می‌گردد. نرخ گرما و دبی رطوبت انتقالی را بدست آورید.

خواص ترمودینامیکی: تمام خواص ترمودینامیکی که به طور مستقیم قابل اندازه‌گیری است مانند دما، فشار و حجم مخصوص می‌باشند. خواص تعریف شده دیگر از قبیل انتروپی، انرژی درونی، ضریب ژول تامسون و ... با معلوم بودن دما و فشار در حالت ترمودینامیکی قابل تعیین می‌باشند.

معادلات حالت: روابط اساسی هستند که برای هر ماده‌ای برای تعیین ارتباط بین دما، فشار، حجم مخصوص بکار می‌روند. معروف‌ترین معادله‌ی حالت همان معادله‌ی حالت گاز ایده‌آل یعنی: $PV=RT$ است.

پس وقتی گاز از شرایط ایده‌آل فاصله می‌گیرد دیگر نمی‌توان از معادله‌ی حالت گاز کامل استفاده کرد. در این شرایط معادلات حالت دیگری که با استفاده از استدلال‌های تحلیلی و تجربی بدست می‌آیند بکار گرفته می‌شوند.



$$\left.\frac{\partial P}{\partial V}\right|_{T_c} = 0$$

نقطه‌ی عطف $$\left.\frac{\partial^2 P}{\partial V^2}\right|_{T_c} = 0$$

یکی از معادلات حالت معروف معادله‌ی واندروالس است که به شکل زیر تعریف می‌شود

$$P = \frac{RT}{v-b} - \frac{a}{v^2}$$

$$a = \frac{27}{64} \frac{R^2 T_c^2}{P_c}$$

$$b = \frac{R T_c}{8 P_c}$$

روابط ماکسول:

یادآوری ترمو ۱:

قانون اول ترمو برای سیستم بسته

$$\delta Q - \delta W = dU$$

$\delta Q \rightarrow TdS$, $\delta W \rightarrow PdV$

$$TdS - PdV = dU \quad (1)$$

تعریف آنتالپی:

$$H = U + PV$$

$$dH = dU + VdP + PdV$$

$dU = TdS - PdV$

$$dH = TdS + VdP \quad (2)$$

$$a = U - TS \quad (3) \longrightarrow da = dU - TdS - SdT$$

تابع هلمهولتز

$dU = TdS - PdV$

$$da = -PdV - SdT$$

$$g = h - TS \quad (4) \longrightarrow dg = dh - TdS - SdT$$

تابع گیبس

$dh = TdS + VdP$

$$dg = VdP - SdT$$

$$dU = TdS - PdV \longrightarrow \left(\frac{\partial T}{\partial V}\right)_S = -\left(\frac{\partial P}{\partial S}\right)_V \quad (I)$$

$$dh = TdS + VdP \qquad \left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)_S = \left(\frac{\partial V}{\partial S}\right)_P \quad (II)$$

$$da = -PdV - SdT \qquad \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V = \left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_T \quad (III)$$

$$dg = VdP - SdT \qquad \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P = -\left(\frac{\partial S}{\partial P}\right)_T \quad (IV)$$

یادآوری ریاضی:

$$z = f(x,y)$$

$$dz = \frac{\partial f}{\partial x}dx + \frac{\partial f}{\partial y}dy$$

$$dz = M\,dx + N\,dy$$

$$\left(\frac{\partial M}{\partial y}\right)_x = \left(\frac{\partial N}{\partial x}\right)_y$$

$$\frac{\partial^2 f}{\partial y \partial x} = \frac{\partial^2 f}{\partial y \partial x}$$

روابط فوق را روابط ماکسول می‌نامند و از آن جهت در ترمودینامیک اهمیت دارند که با اندازه‌گیری P و V و T می‌توان تغییرات ... را

انتروپی را اندازه‌گیری کنیم.

کاربرد روابط ماکسول:

الف) رابطه‌ی کلاپیرون:

این رابطه با استفاده از سومین رابطه‌ی ماکسول امکان می‌دهد تا تغییرات آنتالپی در هنگام تغییر فاز را با دانستن P، v و T به دست آورید.

$$\left.\frac{\partial P}{\partial T}\right)_v = \left.\frac{\partial s}{\partial v}\right)_T$$

در حین تغییر فاز:

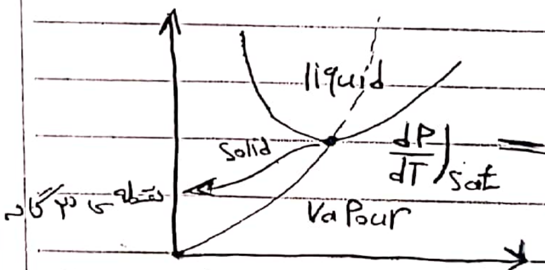
$$P_{sat} = f(T_{sat})$$

$$\frac{dP}{dT} = \frac{\partial s}{\partial v} \quad \xrightarrow{\text{انتگرال‌گیری}} \quad s_g - s_f = \left(\frac{dP}{dT}\right)(v_g - v_f)$$

(شیب ثابت)

$$\left.\frac{dP}{dT}\right)_{sat} = \frac{s_{fg}}{v_{fg}} \quad (*)$$

طی فرآیند تغییر فاز، فشار اشباع فقط تابع دما بوده و مستقل از حجم مخصوص می‌باشد.



$$\left.\frac{dP}{dT}\right)_{sat} = \text{constant}$$

$$dh = Tds + vdP^{=0} \rightarrow h_{fg} = T s_{fg} \quad (**)$$

$$(*) \text{ و } (**) \Rightarrow \left.\frac{dP}{dT}\right)_{sat} = \frac{h_{fg}}{T v_{fg}} \quad (*)$$

(شیب عمومی — مجهول — اندازه‌گیری)

ب) محاسبه‌ی تغییرات انرژی داخلی

تغییرات انرژی داخلی را تابعی از T و v فرض می‌کنیم و دیفرانسیل کل را می‌نویسیم.

$$u = f(T,v)$$

$$du = \left.\frac{\partial u}{\partial T}\right)_v dT + \left.\frac{\partial u}{\partial v}\right)_T dv$$

تعریف گرمای ویژه در حجم ثابت:

$$c_v = \frac{\partial u}{\partial T}$$

$$du = c_v dT + \left.\frac{\partial u}{\partial v}\right)_T dv \quad (*)$$

فرض می‌کنیم آنتروپی تابعی از T و v باشد و دیفرانسیل کامل آن را می‌نویسیم.

$$s = f(T,v)$$

$$ds = \left.\frac{\partial s}{\partial T}\right)_v dT + \left.\frac{\partial s}{\partial v}\right)_T dv$$

$$du = Tds - Pdv$$

$$du = T\left(\frac{\partial s}{\partial T} dT + \frac{\partial s}{\partial v} dv\right) - Pdv$$

$$du = T\left(\frac{\partial s}{\partial T}\right)_v dT + \left[T\left(\frac{\partial s}{\partial v}\right)_T - P\right]dv \quad (**)$$

اینجا نوشتن رابطه ماکسول داریم:

Photo

$$u_2 - u_1 = \int_1^2$$

آنتالپی: تغییرات رابطه کلی برای Δh دقیقا به همان روش Δu بدست می آید که آنتالپی را تابعی از T و P فرض می کنیم و دیفرانسیل کلی آن را بدست می آوریم.

$$h = h(P,T)$$

$$dh = \left.\frac{\partial h}{\partial T}\right)_P dT + \left.\frac{\partial h}{\partial P}\right)_T dP \quad *$$

تعریف c_p

$$c_p = \left.\frac{\partial h}{\partial T}\right)_P$$

$$dh = c_p\, dT + \frac{\partial h}{\partial P}\, dP$$

حال آنتروپی را تابعی از T و P فرض می کنیم و دیفرانسیل کلی آن را بدست می آوریم.

آنتروپی $S = S(P,T)$

$$ds = \left.\frac{\partial S}{\partial P}\right)_T dP + \left.\frac{\partial S}{\partial T}\right)_P dT$$

$$dh = T\,ds + V\,dP \longleftrightarrow \text{یادآوری از ترمو ۱}$$

$$dh = T\left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_P dT + \left[T\left(\frac{\partial S}{\partial P}\right)_T + V\right] dP \quad **$$

مقایسه * و **

$$\left.\frac{\partial h}{\partial T}\right)_P = T\left.\frac{\partial S}{\partial T}\right)_P = c_p \Rightarrow \left.\frac{\partial S}{\partial T}\right)_P = \frac{c_p}{T}$$

$$\left.\frac{\partial h}{\partial P}\right)_T = T\left(\frac{\partial S}{\partial P}\right)_T + V$$

ثابت

یادآوری: چهارمین رابطه ماکسول: $\left.\frac{\partial S}{\partial P}\right)_T = -\left.\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P$

...سواله از انتخابی ها !!!

$$\left(\frac{\partial h}{\partial P}\right)_T = V - T\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P$$

انتگرال

$$dh = c_P\, dT + \left[V - T\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P\right] dP$$

$$\Delta h = h_2 - h_1 = \int_{T_1}^{T_2} c_P\, dT + \int_{P_1}^{P_2} \left[V - T\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P\right] dP$$

$$h_2 - h_1 = u_2 - u_1 + (P_2 V_2 - P_1 V_1)$$

تغییرات انتروپی: با استفاده از روابطی که تاکنون بدست آمده است، دو رابطه کلی برای تغییر آنتروپی سیستم تراکم پذیر ساده بدست می آوریم

$$ds = \frac{c_V}{T} dT + \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V dV \quad (1)$$

$$ds = \frac{c_P}{T} dT - \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P dP \quad (2)$$

$$S = S(P, T)$$

$$ds = \left(\frac{\partial S}{\partial T}\right) dT + \left(\frac{\partial S}{\partial P}\right) dP$$

$\frac{c_P}{T}$ ، ماکسول: $-\frac{\partial V}{\partial T}$

انتگرال از (1) و (2)

$$\Delta S = \int_{T_1}^{T_2} \frac{c_V}{T} dT - \int_{P_1}^{P_2} \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V dV$$

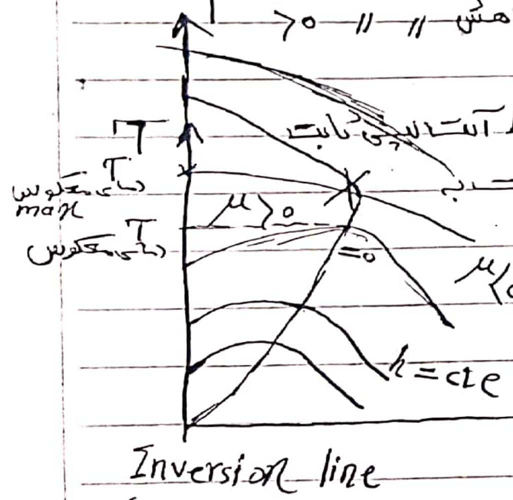
$$\Delta S = \int_{T_1}^{T_2} \frac{c_P}{T} dT - \int_{P_1}^{P_2} \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P dP$$

ضریب ژول-تامسون:

هنگامی که یک سیال از فضای خورده مانند لوله مویین سوراخ های متخلخل و یا یک شیر معمولی عبور کند فشار آن افت می کند و آنتالپی سیال h طی چنین فرآیندی ثابت می ماند. چنین فرآیندی را فرآیند اختناق می نامند که طی آن دمای سیال می تواند افزایش یا کاهش و یا ثابت بماند T

تعریف ضریب ژول-تامسون (μ): $\mu = \left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)_h$ که h ثابت

μ < 0 افزایش // // //، $= 0$ دما ثابت می ماند، > 0 // // کاهش //



یک فرآیند اختناق در طول یک خط آنتالپی ثابت در جهت کاهش فشار یعنی از راست به چپ پیش می رود بنابراین دمای سیال افزایش می یابد و در این فرآیند اختناق در سمت راست خط معکوس واقع می شود اما طی فرآیندهای اختناقی که در سمت چپ خط معکوس واقع شده است، با کاهش

منشا در دما هم کاهش می یابد.

از این نمودار روشن است که اثر خنک کنندگی تنها هنگامی تحقق می یابد که حالت اولیه زیر منحنی معکوس حداکثر دما باشد.

برای یک فرآیند که آنتالپی ثابت است $dh = 0$ است.

$$dh = c_p dT + \left[v - T \left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_P \right] dP = 0$$

$$\frac{dT}{dP} = -\frac{1}{c_p}\left[v - T \left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_P \right] = 0$$

با دانستن گرمای ویژه در فشار ثابت و رفتار $P\,v\,T$ ماده (معادله حالت) و استفاده از مشتق دما و حجم مخصوص می توان ضریب ژول تامسون را یافت.

مثال ۱: فصل احتراق — مهم امتحانی

ضریب هوا به سوخت مولی و جرمی را برای احتراق کامل C_8H_{18} تحت شرایط زیر بیابید:

الف) با هوای تئوری و تئوریتیکال:

ب) با ۱۵۰٪ هوای تئوری یا ۵۰٪ هوای اضافه (برای ...)

$$C_8H_{18} + 12.5\,(O_2 + 3.76\,N_2) \rightarrow 8\,CO_2 + 9\,H_2O + 47\,N_2$$

موازنه

$$\overline{AF} = \frac{12.5\,(1+3.76)}{1} = 59.5 \ \frac{kmol\,(Air)}{kmol\,(fuel)}$$

$$AF = \frac{12.5\,(29)}{114} = 15.1 \ \frac{kg\,(air)}{kg\,(fuel)}$$

موازنه مجدد

$$C_8H_{18} + 1.5 \times 12.5\,(O_2 + 3.76\,N_2)$$

$$\rightarrow 8\,CO_2 + 9\,H_2O + 70.5\,N_2 + 6.25\,O_2$$

$$\overline{AF} = \frac{1.5 \times 12.5\,(1+3.76)}{1} = 89.25$$

$$AF = \frac{1.5 \times 12.5\,(29)}{114} = 22.5$$

سوال امتحانی:

مسائل احتراق:

اکتان مایع تحت شرایط پایا با نرخ جریان جرمی 8×10^{-3} kg/s که با مقدارهای نظری مخلوط می‌گردد وارد یک موتور احتراق داخلی می‌شود. سوخت و هوا در دمای 25°C و فشار 1atm وارد موتور می‌شوند. گازهای مخلوط سوخت و هوا به طور کامل می‌سوزد و محصولات احتراق موتور را در 890K ترک می‌کنند. توان خروجی موتور 37 KW می‌باشد. نرخ انتقال حرارت از موتور را بر حسب KW بدست آورید.

$$C_8H_{18} + 12.5\,O_2 + 47\,N_2 \rightarrow 8\,CO_2 + 9\,H_2O + 47\,N_2$$

$$\dot n_F = \frac{\dot m_F}{M_F} = \frac{8\times10^{-3}}{114}$$

$$\frac{\dot Q}{\dot n_F} - \frac{\dot W}{\dot n_F} = \bar h_P - \bar h_R$$

$$\bar h_P = 8\,\bar h_{CO_2} + 9\,\bar h_{H_2O(g)} + 47\,\bar h_{N_2}$$

$$8\left[\bar h_f^\circ + \Delta\bar h\right]_{CO_2} + 9\left[\bar h_f^\circ + \Delta\bar h\right]_{H_2O} + 47\left[\bar h_f^\circ + \Delta\bar h\right]_{N_2}$$

CO_2: $\bar h_f^\circ = -393520$, $(\bar h - \bar h^\circ) = 38746 - 9364$

H_2O: $\bar h_f^\circ = -241820$, $(31429 - 9904)$

N_2: $\bar h_f^\circ = 0$, $(\bar h - \bar h^\circ) = 26568 - 8669$

عناصر: $\bar h_f^\circ = 0$

$$\bar{h}_R = \left[\bar{h}^\circ_f + \Delta\bar{h}\right]_{C_8H_{18}} + 12.5\left[\bar{h}^\circ_f + \Delta\bar{h}\right]_{O_2} -$$

$$47\left[\bar{h}^\circ_f + \Delta\bar{h}\right]_{N_2}$$

$$\bar{h}_R = \left(\bar{h}^\circ_f\right)_{C_8H_{18}(L)} = -249910\ \text{kJ/kg}$$

$$Q^\circ = \dot{W} + \dot{n}_f\left(\bar{h}_P - \bar{h}_R\right)$$

37 kW

↓

1.58×10^{-5}

اکتان مایع با دمای ۲۵°C و فشار 1atm وارد یک راکتور که به

صورت پایا ... شود ... می‌سوزد ... شرایط

وارد و المحصولات ... شرایط پایا خارج ...

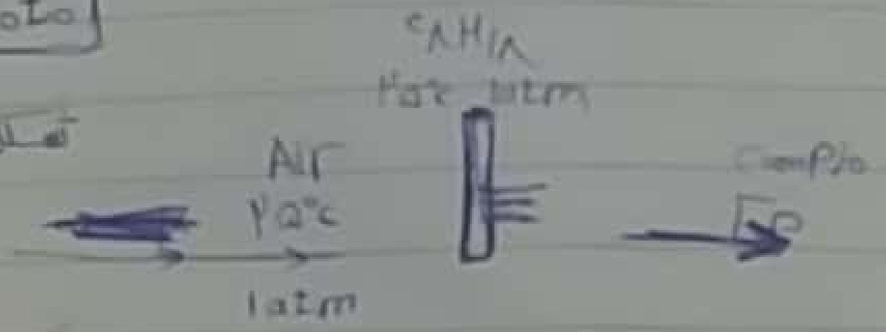
... احتراق ... احتراق کامل ...

شرایط زیر بدست آورید

الف) احتراق با هوای تئوری

ب) با ۴۰۰٪ هوای تئوری

Photo



$$\frac{\dot{Q}}{n_F} = \frac{\dot{W}}{n_F} + \bar{h}_P - \bar{h}_R \Rightarrow h_P = h_R$$

$$C_8H_{18} + 12/5\,O_2 + 47\,N_2 \longrightarrow 8\,CO_2 + 9\,H_2O + 47\,N_2$$

$$8[\bar{h}_f^\circ + \Delta\bar{h}]_{CO_2} + 9[\bar{h}_f^\circ + \Delta\bar{h}]_{H_2O(g)} + 47[\bar{h}_f^\circ + \Delta\bar{h}]_{N_2}$$

$$= [\bar{h}_f^\circ + \Delta\bar{h}]_{C_8H_{18}} + 12/5[\bar{h}_f^\circ + \Delta\bar{h}]_{O_2} + 47[\bar{h}_f^\circ + \Delta\bar{h}]_{N_2}$$

① $\left[\bar{h} - \bar{h}^{\circ}_{f}\right]_{CO_2}$

② $\left[\bar{h} - \bar{h}^{\circ}_{f}\right]_{H_2O}$

③ $\left[\bar{h} - \bar{h}^{\circ}_{f}\right]_{N_2}$

$$8(\Delta\bar{h})_{CO_2} + 9(\Delta\bar{h})_{H_2O} + 47(\Delta\bar{h})_{N_2} =$$

$$(\bar{h}^{\circ}_{f})_{C_8H_{18}} - 8(\bar{h}^{\circ}_{f})_{CO_2} - 9(\bar{h}^{\circ}_{f})_{H_2O(g)} - 47(\bar{h}^{\circ}_{f})_{N_2}$$

Scanned by CamScanner

T_p	۲۵۰۰	۲۴۰۰	۲۳۰۰
$8(\Delta h)_{CO_2}$	۹۷۵۴۰۸	"	"
$9(\Delta h)_{H_2O(g)}$	۸۹۰۷۷۶	"	"
$47(\Delta h)_{N_2}$	۳۱۹۲۶۶۴	"	"
Σ	۵۳۵۸۷۴۸	۵۰۸۹۳۴۷	۴۹۵۵۱۶۳

درونیابی خطی
بین دوم و سوم

$T_p = ۲۳۹۵K$

Fuel + a(O_2 + 3.76 N_2) → b CO_2 + c H_2O + d N_2

[illegible]

[illegible]

[illegible] ۱۰۰٪ [illegible]

[illegible]

[illegible]

هوای اضافی

$$Fuel + \bar{a}(O_2 + ۳/۷۶ N_2) \rightarrow b' CO_2 + c' H_2O_{(l)} + d' N_2 + e O_2$$

$$C_8H_{18} + ۵۰ O_2 + ۱۸۸ N_2 \rightarrow ۸ CO_2 + ۹ H_2O + ۳۷/۵ O_2 + ۱۸۸ N_2$$

R P

$$H_R = H_P \xrightarrow{\text{[illegible]}} T_P = ۹۴۲K$$

Scanned by CamScanner

واسطه سوم

① فرض کنید یک گاز از معادله حالت واندروالس تبعیت کند آنگاه رابطه ای برای محاسبه تغییرات انرژی داخلی آنتالپی و آنتروپی بدست آورید. چنانچه $C_V = C_1 + C_2 T$ به صورت خطی با دما می باشد تغییر

حل:

$$\Delta u = \int_{T_1}^{T_2} C_V\, dT + \int_{V_1}^{V_2} \left[T\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V - P \right] dV$$

انرژی داخلی را

[illegible]:

Term ①

$$\int_{T_1}^{T_2} (c_1 + c_2 T)\, dT = c_1 T + \tfrac{1}{2} c_2 T^2 \Big|_{T_1}^{T_2} =$$

$$c_1 (T_2 - T_1) ~~+ \tfrac{1}{2} c_2 (T_2 - T_1)~~ + \tfrac{1}{2} c_2 (T_2^2 - T_1^2)$$

$$P = \frac{RT}{v-b} - \frac{a}{v^2}$$

Term ②

$$\left.\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V = \frac{R}{v-b} \longrightarrow T\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_{V} - P =$$

Scanned by CamScanner

Δu , Δh , Δs

$$\Delta u = \int_{T_1}^{T_2} C_v \, dT + \int_{v_1}^{v_2} \left[T \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_v - P \right] dv = C_1 (T_2 - T_1$$

اگر فرآیند ایزوترمال باشد ترم اول برابر
با صفر است

$$\Delta h = \Delta u + \Delta P v$$

$$h_2 - h_1 = \Delta u + (P_2 v_2$$

- term1:

$$\int_{T_1}^{T_2} (C_1 + C_2 T) \, dT = C_1 T + \frac{1}{2} C_2 T^2 \Big|_{T_1}^{T_2} = C_1 (T_2 - T$$

term2

$$\left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_v = \frac{R}{V - b} \longrightarrow T \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_v - P = \frac{RT}{V - b} - \frac{RT}{V -}$$

Scanned by CamScanner

Δu , Δh , Δs

$$\Delta u = \int_{T_1}^{T_2} C_v \, dT + \int_{v_1}^{v_2} \left[T \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_v - P \right] dv = C_1 (T_2 - T_1)$$

اگر فرآیند ایزوترمال باشد ترم اول
صفر است

$$\Delta h = \Delta u + \Delta P v$$

$$h_2 - h_1 = \Delta u + (P_2 v_2 -$$

term1:

$$\int_{T_1}^{T_2} (C_1 - C_2 T) \, dT = C_1 T - \frac{1}{2} C_2 T^2 \Big|_{T_1}^{T_2} = C_1 (T_2 - T_1$$

term2

$$\left. \frac{\partial P}{\partial T} \right)_v = \frac{R}{V-b} \longrightarrow T \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_v - P = \frac{RT}{V-b} - \frac{RT}{V-b}$$

Scanned by CamScanner

u , Δh , ΔS

$$\Delta u = \int_{T_1}^{T_2} C_v \, dT + \int_{v_1}^{v_2} \left[T \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_v - P \right] dv = C_1 (T_2 - T_1) + \frac{1}{2} C_2 (T_2^2 - T_1^2) + $$

اگر فرآیند ایزوترمال باشد ترم

با صفر است

$$\Delta h = \Delta u + \Delta P v$$

$$h_2 - h_1 = \Delta u + (P_2 v_2 - P_1 v_1)$$

P=

term1:

$$\int_{T_1}^{T_2} (C_1 + C_2 T) \, dT = C_1 T + \frac{1}{2} C_2 T^2 \Big|_{T_1}^{T_2} = C_1 (T_2 - T_1) + \frac{1}{2} C_2 (T_2^2 - T_1^2)$$

term2

$$\left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_v = \frac{R}{V-b} \longrightarrow T \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_v - P = \frac{RT}{V-b} - \frac{RT}{V-b} + \frac{a}{V^3} = \frac{a}{V^3} \rightarrow$$

Scanned by CamScanner

مثال) نشان دهید ضریب ژول تامسون برای یک گاز ایده‌آل برابر صفر است.

$$\mu = \left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)_h = \frac{-1}{C_P}\left[V - T\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P\right]$$

معادله حالت

$$PV = RT$$

برای گاز ایده‌آل

$$\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P = \frac{R}{P}$$

ضریب ژول تامسون = 0

$$-\frac{1}{C_P}\left[V - \frac{RT}{P}\right] = 0$$

گازی از رابطه $RT = P(V-b)$ و $b>0$ تبعیت می‌کند.

آیا این گاز طی فرآیند اختناق h ثابت، دما[ش] افزایش پیدا می‌کند یا کاهش

ضریب ژول تامسون $\ominus$ فرآیند اختناق دما افزایش

μ کاهش

$$PV - Pb = RT$$

$$V = \frac{RT}{P} + b$$

Scanned by CamScanner

$$\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P = \frac{R}{P}$$

$$\mu = \frac{-1}{C_p}\left[\frac{RT}{P} + b - \frac{TR}{P}\right] = \frac{-b}{C_p}$$

$b > 0$

$$\mu < 0 \longrightarrow$$

Scanned by CamScanner